E/CONF.39/A/175
26 Oct.1962
ORIGINAL : ESPAÑOL

CONFERENCIA DE LAS NACIONES UNIDAS
SOBRE LA APLICACION DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGIA
EN BENEFICIO DE LAS REGIONES MENOS DESARROLLADAS

Punto del programa : A.3.3

España

INVESTIGACION DE AGUAS SUBTERRANEAS EN PAISES SEMI-ARIDOS

Por Enrique DUPUY DE LOME SANCHEZ,
Ingeniero de Minas,
Vocal del Instituto Geológico
y Minero de España,
Director de la Compañía de Investigación
y Explotaciones Petroliferas, S.A.

Las monografías presentadas en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Aplicación de la Ciencia y la Tecnología en Beneficio de las Regiones Menos Desarrolladas constituyen documentos de trabajo de dicha Conferencia. Se publican tal como han sido presentadadas por los colaboradores y los puntos de vista expresados en ellas corresponden a los colaboradores. (Veánse notas al dorso.)

NOTAS

1. Las monografías seleccionadas para las Sesiones Generales serán distribuidas en la Conferencia en los siguientes idiomas oficiales de las Naciones Unidas: español, francés, inglés y ruso.

2. Las monografías seleccionadas para las Sesiones Especiales serán distribuidas en la Conferencia únicamente en uno de los idiomas oficiales antes indicados.

3. Los resúmenes de las monografías presentadas por los colaboradores serán distribuidos en la Conferencia en los siguientes idiomas oficiales de las Naciones Unidas: español, francés, inglés y ruso.

4. No se procederá a la distribución general de las monografías y resúmenes con antelación a la Conferencia. Unicamente serán publicadas en cantidades limitadas con antelación a la Conferencia para uso exclusivo de las delegaciones de los gobiernos participantes y de otros participantes autorizados. La publicación con posterioridad a la Conferencia y la distribución general de las actas y debates de la Conferencia seguirán las prácticas de las Naciones Unidas establecidds por ia Junta de Publicaciones de las Naciones Unidas.

Investigación de aguas subterráneas

en países semi-áridos

Enrique Dupuy de Lôme Sánchez

(Ingeniero de Minas, Vocal del Instituto Geológico y Minero de España,
Director de la Compañía de Investigación y Explotaciones Petrolíferas,S.A.)

1) Aplicación de la geología a la investigación de aguas subterráneas

Escribimos estas notas recogiendo en ellas la experiencia que personalmente hemos obtenido, durante cerca de 15 años dedicados a la investigación de aguas subterráneas en el Sur y Sureste de España, regiones que bien pueden calificarse como semi-áridas.

Durante este tiempo nos hemos visto obligados a ensayar diferentes sistemas de investigación, guiados para ello principalmente por los resultados que de cada uno íbamos obteniendo.

Desgraciadamente, el escaso espacio de que en esta ocasión podemos disponer nos impide exponer, siquiera sea de forma esquemática, el proceso que las investigaciones de agua subterránea han seguido en nuestro país, hasta llegar a la situación, realmente satisfactoria, en que actualmente se encuentra.

Es indudable que en estas regiones semi-áridas, el agua, para riegos y para abastecimiento de poblaciones, adquiere un valor muy elevado, que justifica plenamente la inversión de sumas considerables, tanto en los trabajos de captación de aguas superficiales, como en las investigaciones y labores de alumbramiento de aguas subterráneas.

Pues bien, la aplicación sistemática de las investigaciones geológicas al estudio de los problemas de alumbramiento de aguas subterráneas, nos ha convencido de que, con el empleo sucesivo de los más adecuados métodos de prospección, que expondremos seguidamente, pueden llegar a alumbrarse caudales muy grandes, cuyos caudales en los casos más desfavorables no suelen llegar más que hasta el 40 % o 50 % de la capacidad teórica de producción de cada cuenca hidráulica subterránea, pero que en casos favorables, y así lo hemos experimentado nosotros, pueden alcanzar incluso hasta el 90 % de la capacidad teórica de aquellas.

En general, el empleo de los diferentes métodos de prospección geofísica, como auxiliares de los estudios geológicos en las investigaciones de aguas subterráneas es aconsejable, y en muchos casos realmente insustituíble.

Ello no obstante, no puede ni debe descartarse nunca el empleo de la geología como base científica esencial en toda campaña de investigación de aguas subterráneas. En muchos casos, incluso, basta con los estudios geológicos como único método de investigación para conseguir localizar labores de alumbramiento con las que se extraiga prácticamente la total capacidad de producción de una cuenca.

Hasta tal punto es esto cierto, que en realidad puede afir-

marse hoy día que una campaña geológica bien orientada debe proporcionar resultados positivos en la investigación de aguas subterráneas en más del 75 % de los casos, y que, por el contrario, los resultados positivos obtenidos en labores de captación que no vayan precedidas y hayan sido localizadas mediante estudios geológicos serios deben atribuírse, más que a otra cosa, a un venturoso azar.

2) Método y fases sucesivas de investigación

No es posible establecer un método general de investigación hidrogeológica que sea aplicable a todas las regiones, ya que en muchos casos el desarrollo de los trabajos depende de la urgencia y naturaleza del problema, de las características climáticas y geológicas de la región, y de los datos y elementos cartográficos, hidrogeológicos, etc., de que se pueda disponer en el momento de la iniciación del estudio.

En líneas generales, sin embargo vamos a exponer cuál es, a nuestro juicio, el orden y naturaleza de los estudios que es aconsejable efectuar en una campaña de investigación de aguas subterráneas.

a) Estudio geográfico general

Deben estudiarse las características geográficas de la región, y especialmente su orografía, climatología, régimen de lluvias, nieblas, nevadas, etc.

Es necesario asímismo estudiar las características físicas de las formaciones que afloran en la región estudiada, especialmente desde el punto de vista de su porosidad, permeabilidad y consiguiente capacidad de infiltración del agua de lluvia. La determinación de las constantes de evaporación, infiltración y escorrentía son datos fundamentales en toda investigación hidrogeológica.

Finalmente, y atendiendo a las posibilidades de utilización de agua para riegos, deben considerarse las características edafológicas y agrícolas de la región, pues ellas impondrán el límite económico en cuanto a la extracción de agua.

b) Estudio geológico

Habrá de comprender:

b_1) Estudio estratigráfico de la región (preferible de escala de denominador no mayor de 1/50.000), incluyendo mapa estratigráfico, mapa litológico, representación cartográfica de las permeabilidades y capacidad de infiltración de las diferentes formaciones. Estudios de sedimentología, tendiendo especialmente a la determinación de las variaciones laterales de facies que puedan influir sobre la permeabilidad de las formaciones.

b_2) Estudio fotogeológico de la región, que ayudará a la confección de los mapas antes citados.

b_3) Trabajos paleontológicos y micropaleontológicos en apoyo de las observaciones estratigráficas.

b_4) Estudio tectónico. Habrá a su vez de comprender:

b_{4-1}) Determinación de los accidentes y elementos tectónicos locales y regionales que puedan influir en la disposición de los niveles acuíferos.

b_{4-2}) Estudio de las fallas y roturas que influyan, de forma positiva o negativa, en el régimen de circulación de aguas subterráneas.

b_{4-3}) Investigación de los fenómenos de diapirismo y halocinesis, tanto desde el punto de vista de la circulación de aguas subterráneas, como por su influencia en la salinidad de las mismas.

b_{4-4}) Determinación de las unidades estructurales de primer orden y de los posibles fenómenos de cabalgamiento, así como de la existencia de series deslizadas. Estos factores, por ejemplo, han sido de primordial importancia en las investigaciones hidrogeológicas realizadas en el Sur y Sureste de España.

c) Datos hidrológicos

El poder disponer de datos hidrológicos lo más completos posibles es factor de primordial importancia para el estudio hidrogeológico de una región.

Se deben tomar datos de todos y cada uno de los alumbramientos y manantiales de la región, y estos datos habrán de referirse a más de una época del año, con objeto de eliminar en lo posible los efectos de las variaciones estacionales.

Habrán de comprender, por lo menos:

Denominación, situación, cota y características de la obra.
Nivel hidráulico subterráneo.
Nivel estático (piezométrico).
Nivel dinámico.
Depresión.
Caudal.
Rendimiento específico.
Dirección de entrada del agua.
Naturaleza de la roca ..... (a - estéril / b - acuífera)
Temperatura del agua.
Salinidad y análisis químico.
Porcentajes relativos de aniones y cationes.

La combinación de estos datos hidrológicos, debidamente superpuestos a los planos geológicos, deberá permitir obtener, entre otras representaciones de interés:

Mapas del nivel hidráulico subterráneo.
Líneas isohipsas del mismo.
Mapas y líneas del nivel piezométrico.
Mapas de índices de salinidad y de variación relativa del mismo.
Mapas de caudales y de capacidades de producción,
etc., etc.

d) Mediciones geofísicas

Como hemos dicho, las mediciones geofísicas constituyen un elemento auxiliar de gran valor para las investigaciones hidrogeológicas. No todos los métodos son aplicables en cada caso, y algunos de ellos resultan en ocasiones incluso de costo prohibitivo. La elección del método geofísico más adecuado puede influir grandemente en el éxito de una campaña de investigación de aguas subterráneas.

Los procedimientos geofísicos más usuales son los siguientes:

d_1) Prospección geofísica aérea: Utilizando los métodos magnético, electromagnético y radiactivo (en general su utilidad se establece por este orden), pueden obtenerse buenos resultados en el reconocimiento general previo de grandes extensiones.

d_2) Métodos eléctricos: Por su reducido costo y fácil desplazamiento, son los más utilizados en las investigaciones de aguas subterráneas, y deben emplearse en la mayor parte de los casos.

d_3) Métodos gravimétricos: Adecuados como método auxiliar en el estudio de grandes cuencas o cuando las diferencias de densidad entre diferentes formaciones son muy acentuadas.

d_4) Métodos sísmicos de reflexión y refracción: Utilizables en grandes proyectos. Su aplicación a grandes profundidades y su elevado costo limitan considerablemente su empleo.

d_5) Método magnético terrestre: Empleado generalmente como complemento de las mediciones geofísicas por los métodos gravimétrico y sísmico.

d_6) Métodos radiactivos: En ocasiones se emplean trazadores radiactivos en la determinación de las vías de circulación y velocidad de las aguas subterráneas. Aplicables en las testificaciones de sondeos.

d_7) Otros métodos: Existen técnicas geofísicas recientes en vías de ensayo, entre ellas pueden citarse los sistemas de polarización inducida y los métodos eléctricos de frecuencia variable.

3) Concepto y determinación de cuenca hidráulica subterránea - Balance hidráulico

La determinación de cuenca hidráulica subterránea encierra conceptos de cierta complejidad, pero constituye factor de primordial importancia para el conocimiento de la hidrología subterránea de una región.

El estudio de las cuencas hidráulicas subterráneas permite determinar la capacidad de producción de agua de una zona, sin detrimento de las labores o manantiales existentes, y permite asímismo disipar el recelo, desgraciadamente tan extendido, de que toda labor de captación de aguas subterráneas produce una merma automática en la circulación de aguas superficiales del país.

Es la cuenca hidráulica subterránea un factor fisiográfico y topográfico que puede en cierto modo definirse como la zona en cuyo interior se acumulan, o a cuyo interior circulan, las aguas subterráneas infiltradas en su superficie.

Evidentemente, no tienen por qué coincidir sus límites con los de las cuencas topográficas, ya que la circulación subterránea depende, además de de la pendiente natural, de las características litológicas de las formaciones y de su disposición tectónica.

Claro está, que en los caudales subterráneos no interviene únicamente el agua procedente de la infiltración directa. Existe también la aportación subterránea procedente de la descarga de otras cuencas limítrofes, la infiltración indirecta procedente de la escorrentía, la infiltración indirecta, en zonas cultivadas, del excedente de agua de riegos, etc. etc.

Desgraciadamente, no disponemos aquí de espacio suficiente para el análisis detallado del problema, por lo que habremos de limitarnos a exponerlo en sus términos más generales.

Conocidas las características geológicas e hidrológicas de una cuenca y delimitados los bordes de la misma, puede determinarse el volumen anual de aportación a su interior, y, en consecuencia, su descarga y su capacidad de producción. Como hemos dicho, intervienen en este cálculo una serie de factores complejos, y los resultados serán tanto más exactos cuanto mayor número de estos se tenga en cuenta.

Sin embargo, desde un punto de vista práctico, y para el estudio previo de una región, puede simplificarse el problema, dentro de límites aceptables.

A estos efectos, creemos útil reproducir como ejemplo el cálculo de la recarga de una cuenca según el método utilizado por el Instituto Geológico en sus investigaciones en España. Se trata de una cuenca hidráulica subterránea en el término de Mazarrón, Provincia de Murcia.

Zona	Superficie (m^2)		Lluvia (l/m^2año)		% Infiltrado	Litros año infiltrados		l/s en la zona	
	Montaña	Llano	M.	Ll.		Montaña	Llano	M.	Ll.
1	10.188.750.000	-	325	-	65 %	6.622.000.000	-	210	-
2	2.388.750.000	284.375.000	325	175	55 %	1.313.000.000	156.000.000	42	5
3	520.000.000	1.706.250.000	325	175	45 %	234.000.000	767.000.000	7	24
4	113.750.000	65.625.000	325	175	25 %	28.000.000	16.000.000	1	1
5	7.426.250.000	1.071.875.000	325	175	5 %	371.000.000	53.000.000	12	1
							Total ...	303 l/s	

La recarga de la cuenca nº 3 es de 303 litros por segundo.

Las aguas subterráneas tienen un área de recarga, un área de circulación y un área de descarga. Dentro de cada cuenca la recarga es evidentemente igual a la descarga. Aquella, como hemos dicho, proviene de la lluvia y otros meteoros, de la descarga de otras cuencas, y de la infiltración de corrientes superficiales, de escorrentía y de riegos. La descarga se realiza por labores de captación manantiales, evaporación (incluída capilaridad), o por desagüe en otras cuencas hidráulicas subterráneas, o incluso directamente en el mar.

El balance hidráulico de una cuenca se establece por la ecuación:

Aportación = Infiltración más Escorrentía más Evaporación.

El manejo adecuado de todos estos conceptos permitirá en cada caso regular la extracción de agua subterránea de cada cuenca de tal modo que no se produzcan interferencias entre las labores existentes, ni con los caudales en estiaje de los manantiales de la misma.

(4) Labores de investigación y captación de aguas subterráneas

En esencia, consisten estas labores en la perforación de sondeos, o en la construcción de pozos y galerías. Por falta de espacio, no consideramos aquí las labores, muy interesantes, que pueden realizarse en algunos casos para conducir o detener artificialmente la circulación de aguas subterráneas.

Tampoco es este lugar para insistir en la descripción de los diferentes métodos de perforación de sondeos o de construcción de pozos y galerías.

En lo que a la perforación de sondeos se refiere, es conveniente que el diámetro inicial de los mismos sea suficiente para permitir la instalación en su interior de una bomba vertical sumergida.

Previamente a la colocación de la tubería de revestimiento, deben realizarse, siempre que ello sea posible, ensayos de testificación eléctrica. Ello permite obtener datos muy valiosos en cuanto a litología, porosidad y permeabilidad de las formaciones geológicas atravesadas, y resulta poco menos que imprescindible para establecer con seguridad las necesarias correlaciones entre sondeos perforados en una misma zona.

En muchos casos, y especialmente en formaciones calizas, es conveniente llevar a cabo pruebas de estimulación para aumentar los caudales obtenidos en los sondeos.

Estas estimulaciones pueden conseguirse mediante acidificaciones, o bien por fracturación hidráulica, combinada frecuentemente con la adición de elementos (arena, cáscara de nues, bolas de plástico o aluminio, etc.) que ayuden a mantener abiertas las fracturas producidas.

En cuanto a la perforación de pozos o galerías, la aplicación de las técnicas actuales de construcción resuelve los problemas en la inmensa mayoría de los casos.

Bástenos insistir únicamente en una precaución que no siempre es tenida en cuenta. En la perforación de galerías directamente emboquilladas en la superficie, y que hayan de penetrar en los niveles acuíferos atravesando diques impermeables, cabe la posibilidad de producir un desagüe inmediato de estos acuíferos si no se toman previamente las precauciones necesarias. Aconsejamos el reconocimiento previo de los referidos niveles, con sondeos o pozos, y la construcción de las galerías de tal modo que puedan estas cerrarse inmediatamente después de alcanzado el acuífero, regulándose entonces la extracción mediante válvulas o compuertas.

5) Resultados obtenidos en el Sudeste Español - Programa en Curso

Tradicionalmente han venido realizándose investigaciones de aguas subterráneas en el Sur y Sudeste de España, en cuyas investigaciones han participado, preferentemente, el Instituto Geológico y Minero de España, y el Instituto Nacional de Colonización. En los últimos 3 años estas investigaciones se han incrementado extraordinariamente y se han emprendido estudios hidrogeológicos completos de todas las provincias que constituyen la "España seca", es decir, el Sur y Sudeste de la Península.

Estos estudios se realizan siguiendo, en líneas generales, los métodos expuestos en las páginas anteriores.

Está ya terminado el estudio hidrogeológico de la Provincia de Murcia, y muy avanzado el de la Provincia de Córdoba.

Los equipos del Instituto Geológico y Minero de España están actualmente trabajando además en el estudio de las Provincias de Almería, Granada, Jaén y Málaga, y se espera que este trabajo quede terminado en un plazo de dos años. A continuación, se emprenderá el estudio de las Provincias de Castellón, Valencia, Alicante, Sevilla y Huelva, con lo que debe esperarse que en un plazo de 5 años quede terminada en su fase de estudios previos la investigación hidrogeológica de la totalidad del Sur y Sudeste de España.

Como consecuencia de todas estas investigaciones, se obtiene la localización de las labores de captación para nuevos alumbramientos de agua subterránea. Una parte de las labores se van realizando simultáneamente con las investigaciones, conforme progresan éstas, pero la mayor parte habrá de llevarse a cabo una vez quede terminado el estudio de cada Provincia.

Ello no obstante, los resultados positivos que se están alcanzando en las labores de captación son ya muy alentadores.

El caudal subterráneo alumbrado en conjunto en España en los últimos años es ya superior a la cifra de cinco mil litros por segundo cada año, y es de esperar que estas cifras aumenten muy considerablemente, conforme vayan progresando los estudios hidrogeológicos provinciales que antes hemos mencionado.

Simultáneamente con estas investigaciones se realizan trabajos de control y de regulación de las cuencas subterráneas actualmente en explotación.

Madrid, Agosto de 1962.

EL INGENIERO DE MINAS

1123 S - Nov.1962 - 600